

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-20196

(43) 公開日 平成10年(1998) 1月23日

(51) Int.Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 B 17/08
15/16

G 0 2 B 17/08
15/16

A

審査請求 未請求 請求項の数14 F D (全 19 頁)

(21) 出願番号

特願平8-197061

(22) 出願日

平成8年(1996) 7月8日

NANBA ET AL

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 難波 則広

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(72) 発明者 秋山 健志

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

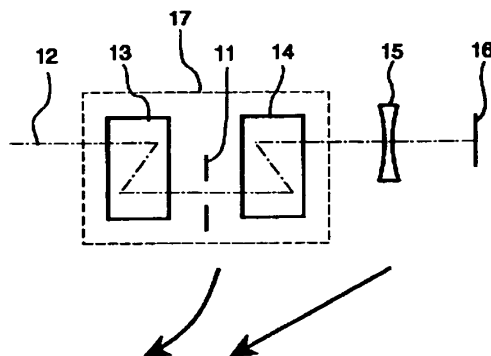
(74) 代理人 弁理士 高梨 幸雄

(54) 【発明の名称】 変倍光学系及びそれを用いた撮像装置

(57) 【要約】

【課題】 光学系内の光路を所望の形状に屈曲しながら、諸収差及び偏心収差を全変倍域にわたって良好に補正し、全体として光学部品点数の少ない変倍光学系及びそれを用いた撮像装置を得ること。

【解決手段】 物体よりでて変倍光学系に入り、該変倍光学系内の絞り中心を通過して最終像面の中心に至る光線を基準軸光線として、該絞りと、該基準軸光線に対し傾いて配置されたOff-Axial 反射面を有する少なくとも1つのOff-Axial 光学素子と、該基準軸光線に対し回転対称な面のみで構成する少なくとも1つの共軸光学素子とを有し、少なくとも1つのOff-Axial 光学素子と少なくとも1つの共軸光学素子の移動により変倍を行なう。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 物体よりでて変倍光学系に入り、該変倍光学系内の絞り中心を通過して最終像面の中心に至る光線を基準軸光線とし、該変倍光学系の各面、各光学素子、各群に入射する基準軸光線をその面、光学素子、群の入射基準軸とし、各面、各光学素子、各群から射出する基準軸光線をその面、光学素子、群の射出基準軸とし、該入射基準軸と各面の交点を基準点、該入射基準軸、射出基準軸において該基準軸光線が物体側から像面に向って進む方向を入射基準軸の方向、射出基準軸の方向とし

て、該絞り、該基準軸光線に対し傾いて配置されたOff-Axial 反射面を有する少なくとも1つのOff-Axial 光学素子と、該基準軸光線に対し回転対称な面のみで構成する少なくとも1つの共軸光学素子とを有し、少なくとも1つのOff-Axial 光学素子と少なくとも1つの共軸光学素子の移動により変倍を行なうことを特徴とする変倍光学系。

【請求項2】 前記Off-Axial 光学素子は透明体の表面に2面の屈折面と1面以上のOff-Axial 反射面とを一体的に形成した光学素子であることを特徴とする請求項1の変倍光学系。

【請求項3】 前記基準軸光線に沿って前記絞りの直前又は／及び直後に前記Off-Axial 光学素子を配置していることを特徴とする請求項2の変倍光学系。

【請求項4】 前記絞りが変倍に際して移動する前記Off-Axial 光学素子と一体として移動することを特徴とする請求項3の変倍光学系。

【請求項5】 前記共軸光学素子は単レンズであることを特徴とする請求項2～4のいずれか1項に記載の変倍光学系。

【請求項6】 前記絞りを通る基準軸光線の方向と変倍に際して移動する前記共軸光学素子を通る基準軸光線の方向とが直交若しくは傾いた関係にあることを特徴とする請求項4又は5の変倍光学系。

【請求項7】 物体よりでて変倍光学系に入り、該変倍光学系内の絞り中心を通過して最終像面の中心に至る光線を基準軸光線とし、該変倍光学系の各面、各光学素子、各群に入射する基準軸光線をその面、光学素子、群の入射基準軸とし、各面、各光学素子、各群から射出する基準軸光線をその面、光学素子、群の射出基準軸とし、該入射基準軸と各面の交点を基準点、該入射基準軸、射出基準軸において該基準軸光線が物体側から像面に向って進む方向を入射基準軸の方向、射出基準軸の方向とし

て、該基準軸光線に沿って物体側から順に第1 Off-Axial 光学素子、該絞り、第2 Off-Axial 光学素子及び共軸光学素子を配置し、このうちの少なくとも1つのOff-Axial 光学素子と該共軸光学素子の移動により変倍を行なうことを特徴とする変倍光学系。

【請求項8】 前記第1 および第2 Off-Axial 光学素子は透明体の表面に2つの屈折面と2つのOff-Axial 反射面を一体的に形成した光学素子であることを特徴とする請求項7の変倍光学系。

【請求項9】 前記第1 及び第2 Off-Axial 光学素子の入射基準軸と射出基準軸の方向は夫々平行であることを特徴とする請求項8の変倍光学系。

【請求項10】 前記第1 Off-Axial 光学素子、前記絞り及び前記第2 Off-Axial 光学素子は変倍に際して一体で移動することを特徴とする請求項9の変倍光学系。

【請求項11】 変倍に際し前記第1 光学素子、前記第2 光学素子、前記共軸光学素子は夫々別々に移動することを特徴とする請求項9の変倍光学系。

【請求項12】 前記第1 及び第2 Off-Axial 光学素子の入射基準軸と射出基準軸の方向は夫々直交しており、該第1 Off-Axial 光学素子、前記絞り及び該第2 Off-Axial 光学素子は変倍に際して一体で移動することを特徴とする請求項8の変倍光学系。

【請求項13】 前記共軸光学素子は凹レンズであることを特徴とする請求項8～12のいずれか1項に記載の変倍光学系。

【請求項14】 請求項1～13のいずれか1項に記載の変倍光学系を有し、撮像媒体の撮像面上に前記物体の像を結像することを特徴とする撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は変倍光学系及びそれを用いた撮像装置に関し、特にOff-Axial 光学素子と共軸光学素子を変倍群として用い、ビデオカメラやスチールビデオカメラ、そして複写機等に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】変倍光学系として、従来より知られているものとして、屈折レンズのみで構成した光学系がある。これらは、球面あるいは回転対称非球面の屈折レンズが、光軸に対して回転対称に配置されている。

【0003】また、従来より凹面鏡や凸面鏡等の反射面を利用した撮影光学系が種々と提案されているし、反射系と屈折系とを両方使用した光学系もカタディオプトリック系としてよく知られている。

【0004】図25は1つの凹面鏡と1つの凸面鏡より成る所謂ミラー光学系の概略図である。同図のミラー光学系において、物体からの物体光束104は、凹面鏡101にて反射され、収束されつつ物体側に向かい、凸面鏡102にて反射された後、レンズ110で屈折され、像面103に結像する。

【0005】このミラー光学系は、所謂カセグレン式反射望遠鏡の構成を基本としており、屈折レンズで構成されるレンズ全長の長い望遠レンズ系の光路を相対する二つの反射ミラーを用いて折りたたむ事により、光学系全長を短縮することを目的としたものである。

【0006】また、望遠鏡を構成する対物レンズ系においても、同様な理由から、カセグレン式の他に、複数の反射ミラーを用いて光学系の全長を短縮する形式が多数知られている。

【0007】この様に、従来よりレンズ全長の長い撮影レンズのレンズの代わりに反射ミラーを用いる事により、効率よく光路を折りたたんで、コンパクトなミラー光学系を得ている。

【0008】しかしながら、一般的にカセグレン式反射望遠鏡等のミラー光学系においては、凸面鏡102により物体光線の一部がケラレるという問題点がある。この問題は物体光束104の通過領域中に凸面鏡102がある事に起因するものである。

【0009】この問題点を解決する為に、反射ミラーを偏心させて使用して、物体光束104の通過領域を光学系の他の部分が遮蔽することを避ける、即ち光束の主光線を光軸105から離すミラー光学系も提案されている。

【0010】図26は米国特許3,674,334号明細書に開示されているミラー光学系の概略図であり、光軸に対して回転対称な反射ミラーの一部を用いることによって上記のケラレの問題を解決している。

【0011】同図のミラー光学系は光束の通過順に凹面鏡111、凸面鏡113そして凹面鏡112があるが、それらはそれぞれ図中二点破線で示す様に、もともと光軸114に対して回転対称な反射ミラーである。このうち凹面鏡111は光軸114に対して紙面上側のみ、凸面鏡113は光軸114に対して紙面下側のみ、凹面鏡112は光軸114に対して紙面下側のみを使用する事により、物体光束115の主光線116を光軸114から離し、物体光束115のケラレを無くした光学系を構成している。

【0012】図27は米国特許5,063,586号明細書に開示されているミラー光学系の概略図である。同図のミラー光学系は反射ミラーの中心軸自体を光軸に対して偏心させて物体光束の主光線を光軸から離して上記の問題を解決している。同図において、被写体面121の垂直軸を光軸127と定義した時に、光束の通過順に凸面鏡122・凹面鏡123・凸面鏡124そして凹面鏡125のそれぞれの反射面の中心座標及び中心軸（その反射面の中心とその面の曲率中心とを結んだ軸）122a, 123a, 124a, 125aは、光軸127に対して偏心している。同図ではこのときの偏心量と各面の曲率半径を適切に設定することにより、物体光束128の各反射ミラーによるケラレを防止して、物体像を効率よく結像面126に結像させている。

【0013】その他米国特許4,737,021号明細書や米国特許4,265,510号明細書にも光軸に対して回転対称な反射ミラーの一部を用いてケラレを避ける構成、或は反射ミラーの中心軸自体を光軸に対して偏心させてケラレを避ける構成が開示されている。

【0014】ところで、反射鏡と屈折レンズとを両方使用したカタディオプトリック光学系で、変倍機能を有し

たものとして例えば米国特許4,477,156号明細書、米国特許4,571,036号明細書に開示されるディープスカイ望遠鏡がある。これは、主鏡に放物面反射鏡を用い、エルフレ接眼鏡を使って倍率を可変にしたものである。

【0015】また、上記ミラー光学系を構成する複数の反射面を相対的に移動させることにより、撮影光学系の結像倍率（焦点距離）を変化させる変倍光学系も知られている。

【0016】例えば米国特許4,812,030号明細書においては、図25に示すカセグレン式反射望遠鏡の構成において、凹面鏡101から凸面鏡102までの間隔と凸面鏡102から像面103までの間隔を相対的に変化させることにより撮影光学系の変倍を行う技術が開示されている。

【0017】図28は同公報に開示されている別の実施例である。同図において、物体からの物体光束138は第一凹面鏡131に入射してこの面で反射され収束光束となって物体側に向かい第一凸面鏡132に入射し、ここで結像面側へ反射され略平行な光束となって第二凸面鏡134に入射し、この面で反射されて発散光束となって第二凹面鏡135に入射し、ここで反射されて収束光束となり像面137上に結像する。この構成において第一凹面鏡131と第一凸面鏡132間の間隔を変化させるとともに、第二凸面鏡134と第二凹面鏡135間の間隔を変化させてズームングを行いミラー光学系全系の焦点距離を変化させている。

【0018】また、米国特許4,993,818号明細書においては、図25に示すカセグレン式反射望遠鏡にて結像した像を後段に設けた別のミラー光学系にて二次結像し、この二次結像用のミラー光学系の結像倍率を変化させることにより撮影系全体の変倍を行っている。

【0019】これらの反射型の撮影光学系は、構成部品点数が多く、必要な光学性能を得る為には、それぞれの光学部品を精度良く組み立てることが必要であった。特に、反射ミラーの相対位置精度が厳しい為、各反射ミラーの位置及び角度の調整が必須であった。

【0020】この問題を解決する一つの方法として、例えばミラー系を一つのブロック化することにより、組立時に生じる光学部品の組み込み誤差を回避する方法が提案されている。

【0021】従来、多数の反射面が一つのブロックに構成されているものとして、例えばファインダー系等に使用されるペンタゴナルダハプリズムやボロプリズム等の光学プリズムがある。これらのプリズムは、複数の反射面が一体成形されている為に、各反射面の相対的な位置関係は精度良く作られており、反射面相互の位置調整は不要となる。但し、これらのプリズムの主な機能は、光線の進行方向を変化させることで像の反転を行うものであり、各反射面は平面で構成されている。

【0022】これに対して、プリズムの反射面に曲率を持たせた光学系も知られている。

【0023】図29は米国特許4,775,217号明細書に開示されている観察光学系の要部概略図である。この観察光学系は外界の風景を観察すると共に、情報表示体に表示した表示画像を風景とオーバーラップして観察する光学系である。

【0024】この観察光学系では、情報表示体141の表示画像から出射する表示光束145は面142にて反射して物体側に向かい、凹面より成るハーフミラー面143に入射する。そしてこのハーフミラー面143にて反射した後、表示光束145は凹面143の有する屈折力によりほぼ平行な光束となり、面142を屈折透過した後、表示画像の拡大虚像を形成するとともに、観察者の瞳144に入射して表示画像を観察者に認識させている。

【0025】一方、物体からの物体光束146は反射面142とほぼ平行な面147に入射し、屈折して凹面のハーフミラー面143に至る。凹面143には半透過膜が蒸着されており、物体光束146の一部は凹面143を透過し、面142を屈折透過後、観察者の瞳144に入射する。これにより観察者は外界の風景の中に表示画像をオーバーラップして視認する。

【0026】図30は特開平2-297516号公報に開示されている観察光学系の要部概略図である。この観察光学系も外界の風景を観察すると共に、情報表示体に表示した表示画像をオーバーラップして観察する光学系である。

【0027】この観察光学系では、情報表示体150から出射した表示光束154は、プリズムPaを構成する平面157を透過しプリズムPaに入り放物面反射面151に入射する。表示光束154はこの反射面151にて反射されて収束光束となり焦点面156に結像する。このとき反射面151で反射された表示光束154は、プリズムPaを構成する2つの平行な平面157と平面158との間を全反射しながら焦点面156に到達しており、これによって光学系全体の薄型化を達成している。

【0028】次に焦点面156から発散光として出射した表示光束154は、平面157と平面158の間を全反射しながら放物面より成るハーフミラー152に入射し、このハーフミラー面152で反射されると同時にその屈折力によって表示画像の拡大虚像を形成すると共にほぼ平行な光束となり、面157を透過して観察者の瞳153に入射し、これにより表示画像を観察者に認識させている。

【0029】一方、外界からの物体光束155はプリズムPbを構成する面158bを透過し、放物面より成るハーフミラー152を透過し、面157を透過して観察者の瞳153に入射する。観察者は外界の風景の中に表示画像をオーバーラップして視認する。

【0030】さらに、プリズムの反射面に光学素子を用いた例として、例えば特開平5-12704号公報や特開平6-139612号公報等に開示されている光ピックアップ用の光学ヘッドがある。これらは半導体レーザーからの光をフレネル面やホログラム面にて反射させた後、ディスク面

に結像し、ディスクからの反射光をディテクターに導いている。

【0031】

【発明が解決しようとする課題】従来の屈折光学素子の光学系は、色収差を補正するために凸レンズと凹レンズを混在させている。一般にズーム系を構成する場合、変倍の際一体となる群内で基本的な色収差補正を行なうため、各群に凸レンズと凹レンズが混在している場合が多い。よって、色収差補正を考慮するとズーム系では全体を構成するレンズ枚数を削減するには限界がある。

【0032】又、前記米国特許3,674,334号明細書、米国特許5,063,586号明細書、米国特許4,265,510号明細書に開示されている偏心ミラーを有するミラー光学系は、いずれも各反射ミラーを異なる偏心量にて配置しており、各反射ミラーの取り付け構造が非常に煩雑となり、また取り付け精度を確保する事が非常に難しいものとなっている。

【0033】又、米国特許4,812,030号明細書、米国特許4,993,818号明細書に開示されている変倍機能を有する撮影光学系は、いずれも反射ミラーや結像レンズなどの構成部品点数が多く、必要な光学性能を得る為には、それぞれの光学部品を精度良く組み立てる必要があった。

【0034】また特に反射ミラーの相対位置精度が厳しくなる為、各反射ミラーの位置及び角度の調整を行うことが必要であった。

【0035】又、従来の反射型の撮影光学系は、光学系全長が長く画角の小さい所謂望遠タイプのレンズ系に適した構成となっている。そして、標準レンズの画角から広角レンズの画角までを必要とする撮影光学系を得る場合には収差補正上必要とされる反射面数が多くなる為、更に高い部品精度、高い組立精度が必要となり、コストが高くなる或は全体が大型化する傾向があった。

【0036】又、前記米国特許4,775,217号明細書に開示されている観察光学系は、平面屈折面と凹面のハーフミラー面によって小型の観察光学系を構成しているが、情報表示体及び外界からの光束の射出面62は、この面を情報表示体61からの光束の全反射面として使用する関係上、この面に曲率を持たせることは困難であり、射出面62において収差補正を行ってはいなかった。

【0037】又、前記特開平2-297516号公報に開示されている観察光学系は、平面屈折面と放物面反射面と放物面より成るハーフミラーによって小型の観察光学系を構成しているが、外界からの物体光束の入射面及び射出面は、その延長面上を情報表示体70からの光線を導く為の全反射面として使用する関係上、それぞれの面に曲率を持たせることは困難であり、入射面及び射出面において収差補正を行ってはいなかった。

【0038】又、特開平5-12704号公報や特開平6-1396

12号公報等に開示されている光ピックアップ用の光学系は、いずれも検知光学系の使用に限定されており、撮影光学系、特にCCD等の面積型の撮像素子を用いた撮像装置に対する結像性能を満足するものではなかった。

【0039】本発明は、Off-Axial 光学素子と、基準軸光線に対し回転対称な面のみで構成される共軸光学素子によって変倍を行い、光学系内の光路を所望の形状に屈曲しながら、諸収差及び偏心収差を全変倍域にわたって良好に補正し、全体として光学部品点数の少ない変倍光学系及びそれを用いた撮像装置の提供を目的とする。

【0040】更に、

(1-1) 複数の反射面に適切な屈折力を与えて、これを偏心配置したOff-Axial 光学素子を用いることにより、変倍光学系内の光路を所望の形状に屈曲し、該変倍光学系の所定方向の全長を短縮する。

(1-2) 1つの透明体の表面に適切な屈折力を有する2つの入・射出屈折面と、適切な屈折力を有し、基準軸に対して偏心配置した複数の反射面を形成したOff-Axial 光学素子を用いることにより、諸収差及び偏心収差を全変倍域にわたって良好に補正する。

(1-3) 1つの透明体の表面に2つの屈折面と複数の曲面や平面の反射面を一体的に形成したOff-Axial 光学素子を用いることにより変倍光学系全体の小型化を図りつつ、反射面を使用する際にありがちな反射面の厳しい配置精度(組立精度)の問題を解決する。等の少なくとも1つの効果を有する変倍光学系及びそれを用いた撮像装置の提供を目的とする。

【0041】

【課題を解決するための手段】本発明の変倍光学系は、

(2-1) 物体よりでて変倍光学系に入り、該変倍光学系内の絞り中心を通して最終像面の中心に至る光線を基準軸光線とし、該変倍光学系の各面、各光学素子、各群に入射する基準軸光線をその面、光学素子、群の入射基準軸とし、各面、各光学素子、各群から射出する基準軸光線をその面、光学素子、群の射出基準軸とし、該入射基準軸と各面の交点を基準点、該入射基準軸、射出基準軸において該基準軸光線が物体側から像面に向かって進む方向を入射基準軸の方向、射出基準軸の方向として、該絞り、と、該基準軸光線に対し傾いて配置されたOff-Axial 反射面を有する少なくとも1つのOff-Axial 光学素子と、該基準軸光線に対し回転対称な面のみで構成する少なくとも1つの共軸光学素子とを有し、少なくとも1つのOff-Axial 光学素子と少なくとも1つの共軸光学素子の移動により変倍を行なうこと等を特徴としている。

【0042】特に、

(2-1-1) 前記Off-Axial 光学素子は透明体の表面に2面の屈折面と1面以上のOff-Axial 反射面とを一体的に形成した光学素子である。

(2-1-2) 前記基準軸光線に沿って前記絞りの直前又は/及び直後に前記Off-Axial 光学素子を配置して

いる。

(2-1-3) 前記絞りが変倍に際して移動する前記Off-Axial 光学素子と一体として移動する。

(2-1-4) 前記共軸光学素子は単レンズである。

(2-1-5) 前記絞りを通る基準軸光線の方向と変倍に際して移動する前記共軸光学素子を通る基準軸光線の方向とが直交若しくは傾いた関係にある。こと等を特徴としている。

【0043】更に、本発明の変倍光学系は、

(2-2) 物体よりでて変倍光学系に入り、該変倍光学系内の絞り中心を通して最終像面の中心に至る光線を基準軸光線とし、該変倍光学系の各面、各光学素子、各群に入射する基準軸光線をその面、光学素子、群の入射基準軸とし、各面、各光学素子、各群から射出する基準軸光線をその面、光学素子、群の射出基準軸とし、該入射基準軸と各面の交点を基準点、該入射基準軸、射出基準軸において該基準軸光線が物体側から像面に向かって進む方向を入射基準軸の方向、射出基準軸の方向として、該基準軸光線に沿って物体側から順に第1 Off-Axial 光学素子、該絞り、第2 Off-Axial 光学素子及び共軸光学素子を配置し、このうちの少なくとも1つのOff-Axial 光学素子と該共軸光学素子の移動により変倍を行なうこと等を特徴としている。

【0044】特に、

(2-2-1) 前記第1 および第2 Off-Axial 光学素子は透明体の表面に2つの屈折面と2つのOff-Axial 反射面を一体的に形成した光学素子である。

(2-2-2) 前記第1 及び第2 Off-Axial 光学素子の入射基準軸と射出基準軸の方向は夫々平行である。

(2-2-3) 前記第1 Off-Axial 光学素子、前記絞り及び前記第2 Off-Axial 光学素子は変倍に際して一体で移動する。

(2-2-4) 変倍に際し前記第1 光学素子、前記第2 光学素子、前記共軸光学素子は夫々別々に移動する。

(2-2-5) 前記第1 及び第2 Off-Axial 光学素子の入射基準軸と射出基準軸の方向は夫々直交しており、該第1 Off-Axial 光学素子、前記絞り及び該第2 Off-Axial 光学素子は変倍に際して一体で移動する。

(2-2-6) 前記共軸光学素子は凹レンズである。こと等を特徴としている。

【0045】又、本発明の撮像装置は、

(2-3) (2-1)~(2-2-6) 項のいずれか1項に記載の変倍光学系を有し、撮像媒体の撮像面上に前記物体の像を結像すること等を特徴としている。

【0046】

【発明の実施の形態】本発明の変倍光学系には通常の光学系における光軸のごとき対称軸が存在しない。そこで光学系中を“基準軸”を設定して、この基準軸をベースとして光学系中の諸要素の構成を記述する。

【0047】先ず基準軸の定義を説明する。一般的には

物体面から像面にいたる基準となる基準波長の或る光線の光路をその光学系における“基準軸”と定義する。これだけでは基準となる光線が定まらないので、通常は以下の2つの原則のいずれかに則り基準軸光線を設定する。

(1) 光学系に部分的にでも対称性を有する軸が存在し、収差のとりまとめが対称性よく行なうことができる場合にはその対称性を有する軸上を通る光線を基準軸光線とする。

(2) 光学系に一般的に対称軸が存在しない時、あるいは部分的には対称軸が存在しても、収差のとりまとめが対称性よく行なえない時には、物体面中心(被撮影、被観察範囲の中心)から出て、光学系の指定される面の順に光学系を通り、光学系内の絞り中心を通る光線、又は光学系内の絞り中心を通して最終像面の中心に至る光線を基準軸光線と設定し、その光路を基準軸とする。

【0048】このようにして定義される基準軸は一般的には折れ曲がっている形状となる。ここで、各面において各面と基準軸光線との交点を各面の基準点とし、各面の物体側の基準軸光線を入射基準軸、像側の基準軸光線を射出基準軸とする。さらに、基準軸は方向(向き)を持つこととし、その方向は基準軸光線が結像に際して進行する方向とする。よって、入射、射出側に各々入射基準軸方向、射出基準軸方向が存在する。このようにして基準軸は設定された各面の順番に沿って屈折若しくは反射の法則に従ってその方向を変化させつつ、最終的に像面に到達する。なお、複数の面で構成された光学素子(光学系)においては、その最も物体側の面へ入射する基準軸光線をこの光学素子(光学系)の入射基準軸、最も像側の面から射出する基準軸光線をこの光学素子(光学系)の射出基準軸とする。又、これらの入射・射出基準軸の方向の定義は面の場合と同じである。

【0049】図1は本発明の変倍光学系の実施形態1の基本構成図である。図中、11は絞り、12は絞り11の開口中心と最終結像面の中心を通る基準軸光線、13、14は各々基準軸光線12に対して傾いて配置された不図示の反射面(本明細書においては入射基準軸に対して傾いて配置された反射面をOff-Axial 反射面と呼ぶこととする)を有する光学素子(本明細書においてはOff-Axial 反射面を有する光学素子をOff-Axial 光学素子と呼ぶこととする)であり、基準軸光線によって物体側から順に第1光学素子13、第2光学素子14と配置している。

【0050】さらに15は基準軸光線12を回転対称軸とする第3光学素子(共軸光学素子)、16は像面である。本実施形態の第1光学素子13、絞り11、第2光学素子14は変倍に際して前群17として一体となって移動する。また、第3光学素子15は後群として移動する。

【0051】ここで、前群17は正の屈折力を、後群15は負の屈折力を有し、全体として正負の2群ズームを構成し、後群15が変倍作用を担い、前群17が像点移動を補正

して変倍光学系を構成している。

【0052】そして、基準軸光線12は絞り11の開口中心を通過して各面で屈折又は反射して最終結像面16の中心に至る。本発明では共軸系の光軸に相当するものとして基準軸光線を用いる。なお、本発明の実施形態は基準軸光線を絞りの開口中心と像面の中心を通る光線として定義しているが、光学系の有効光線を代表するものであればこのような定義に限定されない。

【0053】図2は第1光学素子13の構成図であり、又、図3は第1光学素子13の斜視図である。第1光学素子13は透明体の表面に二つの屈折面41、44と二つの反射面42、43を形成している。なお、反射面42、43には蒸着等の方法によりミラーを形成している。屈折面41は入射面、42、43は屈折面44は射出面である。

【0054】実施形態1の前群17ではこのような光学素子を絞り11を挟んで前後に対称的に配置している。このようにすると変倍全域に渡って絞り11を挟んで各面角の主光線が対称的に導かれるため、偏心歪曲収差が互いにキャンセルされる効果がある。これは前群17を1つのOff-Axial 光学素子で構成した時に得難い効果である。

又、第1光学素子13、第2光学素子14のように複数の面を一体構成すると各面を独立に配置するよりも面の位置精度が高まるため、位置、傾き等の調整が不要となる。また、反射面を支持する部材が不要であるため部品点数が削減される。

【0055】また、光学素子としての屈折力を主に反射面に分担させることで、屈折面に自由度を持たせることができ、所望の屈折力を有しながら屈折面を色収差の発生を抑える形状とすることが可能である。

【0056】本実施形態は、このような光学素子を変倍光学系に用いているので色収差補正のために一つの群内に凸レンズと凹レンズを混在させる必要がなくなり、少ない光学部品で変倍系を構成できる。

【0057】本実施形態では、Off-Axial 光学素子と基準軸に対して回転対称な面のみで構成される共軸光学素子を用いることにより、全体として光学部品点数の少ない変倍光学系を達成している。即ち、図1の構成では前群をOff-Axial 光学素子2個、後群を凹レンズ1枚、即ち3部品で変倍光学系を構成している。

【0058】図4は本発明の変倍光学系の実施形態2の基本構成図である。本実施形態は実施形態1に対して前群の構成が異なっている。図中、21は第1光学素子、22は第2光学素子であり、夫々実施形態1の第1光学素子13、第2光学素子14に相当する。本実施形態でも第1光学素子21、絞り11、第2光学素子22は2群構成の変倍光学系の前群17を構成しており、第3光学素子15は変倍光学系の後群を構成している。本実施形態の変倍方式は実施形態1と同じである。

【0059】本実施形態の第1光学素子21及び第2光学素子22は夫々基準軸光線の入射方向と出射方向が直交す

るように構成しているの、前群17において図中のz方向の寸法を小さくしており、この方向の全長は実施形態1よりも短くなる。なお、本実施形態の絞り11を通る基準軸光線方向と共軸光学素子である第3光学素子15を通る基準軸光線方向は直交している。

【0060】なお、基本的な光学配置は実施形態1と同じであり、絞り11を挟んで光学素子21、22を対称的に配置して特に偏心歪曲差を補正している。その他の効果も実施形態1と同じである。

【0061】図5は本発明の変倍光学系の実施形態3の基本構成図である。本実施形態の構成は実施形態1と似ているが、本実施形態は図1の前群を分割して全体を3群構成として、変倍に際して3群を別々に移動する点が異なっている。すなわち第1光学素子13を第1群、絞り11と第2光学素子14を第2群、第3光学素子（共軸光学素子）15を第3群としている。このようにすると変倍時の光学素子13、14の偏心収差変動を低減できるという利点がある。

【0062】本実施形態でも、Off-Axial 光学素子と基準軸に対して回転対称な面のみで構成される共軸光学素子を用いることにより、全体として光学部品点数の少ない変倍光学系を達成している。即ち、図5の構成ではOff-Axial 光学素子2個、凹レンズ1枚、即ち3部品で3群の変倍光学系を構成している。

【0063】数値実施形態の説明に入る前に、数値実施例の構成諸元の表し方及び数値実施例全体の共通事項について説明する。

【0064】図6は本発明の数値実施例の構成データを定義する座標系の説明図である。本発明の数値実施例では物体側から像面に進む1つの光線（図6中の一点鎖線で示すもので基準軸光線と呼ぶ）に沿ってi番目の面を第i面とする。

【0065】図6において第1面R1は絞り、第2面R2は第1面と共軸な屈折面、第3面R3は第2面R2に対してチルトされた反射面、第4面R4、第5面R5は各々の前面に対してシフト、チルトされた反射面、第6面R6は第5面R5に対してシフト、チルトされた屈折面である。第2面R2から第6面R6までの各々の面はガラス、プラスチック等の媒質で構成される一つの光学素子上に構成されており、図6中では第1光学素子B1としている。

【0066】従って、図6の構成では不図示の物体面から第2面R2までの媒質は空気、第2面R2から第6面R6まではある共通の媒質、第6面R6から不図示の第7面R7までの媒質は空気構成している。

【0067】本発明の光学系はOff-Axial 光学系であるため光学系を構成する各面は共通の光軸を持っていない。そこで、本発明の実施形態においては先ず絞りである第1面の光線有効径の中心を原点とする絶対座標系を設定する。本発明では絶対座標系の各軸を以下のように定める。

【0068】Z軸：原点を通り第2面R2に向かう基準軸
Y軸：原点を通りチルト面内（図6の紙面内）でZ軸に対して反時計回りに90°をなす直線

X軸：原点を通りZ、Y各軸に垂直な直線（図6の紙面に垂直な直線）

又、光学系を構成する第i面の面形状を表すには、絶対座標系にてその面の形状を表記するより、基準軸と第i面が交差する点を原点とするローカル座標系を設定して、ローカル座標系でその面の面形状を表した方が形状を認識する上で理解し易い為、本発明の構成データを表示する数値実施形態では第i面の面形状をローカル座標系で表す。

【0069】また、第i面のYZ面内でのチルト角は絶対座標系のZ軸に対して反時計回り方向を正とした角度 θ_i （単位°）で表す。よって、本発明の実施形態では各面のローカル座標の原点は図6中のYZ平面上にある。またXZおよびXY面内での面のチルト、シフトはない。さらに、第i面のローカル座標(x,y,z)のy,z軸は絶対座標系(X,Y,Z)に対してYZ面内で角度 θ_i 傾いており、具体的には以下のように設定する。

【0070】z軸：ローカル座標の原点を通り、絶対座標系のZ方向に対しYZ面内において反時計方向に角度 θ_i をなす直線

y軸：ローカル座標の原点を通り、z方向に対しYZ面内において反時計方向に90°をなす直線

x軸：ローカル座標の原点を通り、YZ面に対し垂直な直線

また、本発明の実施形態の光学系は複数の光学素子の移動により全体の焦点距離を変化（変倍）する。本発明の数値データを挙げた数値実施例では広角端(W)、望遠端(T)とこれらの中間位置(M)の三つの位置での光学系断面図、数値データを示す。

【0071】ここで、図6の光学素子においてYZ面内で光学素子が移動すると各変倍位置で値が変わるのは各面の位置を表すローカル座標の原点(Y_i, Z_i)であるが、本実施形態では、変倍のために移動する光学素子がZ方向の移動の場合のみであり、座標値 Z_i を光学系が広角端、中間、望遠端の状態の順に $Z_i(W)$ 、 $Z_i(M)$ 、 $Z_i(T)$ で表すこととする。

【0072】なお、各面の座標値は広角端での値を示し、中間、望遠端では広角端との差で記述する。具体的には広角端(W)に対する中間位置(M)、望遠端(T)での移動量を各々a,bとすれば、以下の式で表す。

【0073】 $Z_i(M) = Z_i(W) + a$

$Z_i(T) = Z_i(W) + b$

なお、a,bの符号は各面がZプラス方向に移動する場合を正、Zマイナス方向に移動する場合を負としている。また、この移動に伴い変化する面間隔 D_i は変数であり、各変倍位置での値を別表にまとめて示す。

【0074】また、 D_i は第i面と第(i+1)面のローカル

座標の原点間の間隔を表すスカラー量、 N_{di} 、 ν_{di} は第 i 面と第 $(i+1)$ 面間の媒質の屈折率とアッペ数である。なお、絞りや最終結像面も1つの平面として表示している。

【0075】本発明の実施形態は球面及び回転非対称の非球面を有している。その内の球面部分は球面形状としてその曲率半径 R_i を記している。曲率半径 R_i の符号は、曲率中心がローカル座標の z 軸プラス方向にある場合をプラスとし、 z 軸マイナス方向にある場合をマイナスとする。

【0076】ここで、球面は以下の式で表される形状である。

【0077】

【数1】

$$z = \frac{(x^2 + y^2)/R_i}{1 + \sqrt{1 - (x^2 + y^2)/R_i^2}}^{1/2}$$

また、本発明の光学系は少なくとも回転非対称な非球面を一面以上有し、その形状は以下の式により表す。

【0078】 $A = (a+b) \cdot (y^2 \cdot \cos^2 t + x^2)$

$B = 2a \cdot b \cdot \cos t \{ 1 + \{ (b-a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b) \} + \{ 1 + \{ (b-a) \cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b) \} - \{ y^2 / (a \cdot b) \} - \{ 4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t \} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t) \}^{1/2}$

として

$z = A/B + C_0 y^2 + C_{11} xy + C_{20} x^2 + C_{03} y^3 + C_{12} xy^2 + C_{21} x^2 y + C_{30} x^3 + C_{04} y^4 + C_{13} xy^3 + C_{22} x^2 y^2 + C_{31} x^3 y + C_{40} x^4 + C_{05} y^5 + C_{14} xy^4 + C_{23} x^2 y^3 + C_{32} x^3 y^2 + C_{41} x^4 y + C_{50} x^5 + C_{06} y^6 + C_{15} xy^5 + C_{24} x^2 y^4 + C_{33} x^3 y^3 + C_{42} x^4 y^2 + C_{51} x^5 y + C_{60} x^6$

上記曲面式において (A/B) は二次曲面形状を表しており、上記曲面式は二次曲面をベースとした回転非対称な非球面形状を表すものである。ただし、本発明の実施形態では上記曲面式において

$A/B=0$

としている。これは平面ベースの回転非対称面を意味し*

*ている。具体的には t の値に関わらず以下の条件が成り立っている。

【0079】 $a = b = \infty$

また、本発明における回転非対称な各面の形状は、上記曲面式の x に関する偶数次の項のみを使用し、奇数次の項を0とする事により、 yz 面を対称面とする面対称な形状としている。よって、本発明の各回転非対称面では $C_{11}=C_{12}=C_{30}=C_{13}=C_{31}=C_{14}=C_{32}=C_{50}=C_{15}=C_{33}=C_{51}=0$ が成り立っている。

10 【0080】また、水平半面角 u_v とは図6の YZ 面内において第1面 $R1$ に入射する光束の最大面角、垂直半面角 u_x とは XZ 面内において第1面 $R1$ に入射する光束の最大面角である。

【0081】また、光学系の明るさを示すものとして入射瞳の直径を入射瞳径として示す。また、像面上での有効像範囲を像サイズとして示す。像サイズはローカル座標の y 方向のサイズを水平、 x 方向のサイズを垂直とした矩形領域で表している。

20 【0082】また、数値実施例についてはその横収差図を示す。横収差図は各実施形態の広角端 (W)、中間位置 (M)、望遠端 (T) の状態について、絞り $R1$ への水平入射角、垂直入射角が夫々 (u_v, u_x) , $(0, u_x)$, $(-u_v, u_x)$, $(u_v, 0)$, $(0, 0)$, $(-u_v, 0)$ となる入射角の光束の横収差を示す。横収差図においては、横軸は瞳への入射高さを表し、縦軸は収差量を表している。各数値実施例とも基本的に各面が yz 面を対称面とする面対称の形状となっている為、横収差図においても垂直面角のプラス、マイナス方向は同一となるので、図の簡略化の為に、マイナス方向の横収差図は省略している。

30 【0083】数値実施形態を以下に示す。

【0084】[数値実施例1] 本数値実施例は実施形態1の数値実施例であり、変倍比約1.9の変倍光学系である。図7、8、9は夫々本実施例の広角端 (W)、中間位置 (M)、望遠端 (T) での光学断面図及び光路図である。

【0085】

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 | | | | |
|-------|-------|-----------|------------|-------|----------|------------|--|
| 水平半面角 | 27.2 | 21.6 | 14.4 | | | | |
| 垂直半面角 | 18.9 | 14.6 | 9.7 | | | | |
| 絞り径 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | | | | |
| i | Y_i | $Z_i (W)$ | θ_i | D_i | N_{di} | ν_{di} | |

第1 光学素子B1

| | | | | | | | |
|---|--------|-------|-------|-------|---------|-------|-----|
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 16.00 | 1.51741 | 52.41 | 屈折面 |
| 2 | 0.00 | 16.00 | 30.00 | 20.00 | 1.51741 | 52.41 | 反射面 |
| 3 | -17.32 | 6.00 | 30.00 | 16.00 | 1.51741 | 52.41 | 反射面 |
| 4 | -17.32 | 22.00 | 0.00 | 2.00 | 1 | | 屈折面 |
| 5 | -17.32 | 24.00 | 0.00 | 2.00 | 1 | | 絞り |

第2 光学素子B2

| | | | | | | | |
|---|--------|-------|--------|-------|---------|-------|-----|
| 6 | -17.32 | 26.00 | 0.00 | 8.00 | 1.51741 | 52.41 | 屈折面 |
| 7 | -17.32 | 40.00 | -30.00 | 20.00 | 1.51741 | 52.41 | 反射面 |
| 8 | 0.00 | 30.00 | -30.00 | 16.00 | 1.51741 | 52.41 | 反射面 |

15

| | | | | | | | |
|-----------------|---|-------|-------|---------------------------|---------|-------|-----|
| 9 | 0.00 | 46.00 | 0.00 | 変数 | 1 | | 屈折面 |
| 第3 光学素子B3(凹レンズ) | | | | | | | |
| 10 | 0.00 | 62.38 | 0.00 | 2.80 | 1.83480 | 42.72 | 屈折面 |
| 11 | 0.00 | 65.18 | 0.00 | 変数 | 1 | | 屈折面 |
| 12 | 0.00 | 84.40 | 0.00 | | 1 | | 像面 |
| | 広角端 | 中間 | 望遠端 | | | | |
| D 9 | 16.38 | 11.60 | 5.58 | | | | |
| D11 | 19.22 | 33.77 | 69.22 | | | | |
| D 1 ~ 9面 | $Z_i(M) = Z_i(W) - 9.76$ | | | $Z_i(T) = Z_i(W) - 39.20$ | | | |
| D10 ~ 11面 | $Z_i(M) = Z_i(W) - 14.55$ | | | $Z_i(T) = Z_i(W) - 50.00$ | | | |
| D12 面 | $Z_i(M) = Z_i(W)$ | | | $Z_i(T) = Z_i(W)$ | | | |
| 球面形状 | | | | | | | |
| R 1 面 | $R_1 = -70.000$ | | | | | | |
| R 4 面 | $R_4 = \infty$ | | | | | | |
| R 6 面 | $R_6 = \infty$ | | | | | | |
| R 9 面 | $R_9 = -30.024$ | | | | | | |
| R10 面 | $R_{10} = -34.943$ | | | | | | |
| R11 面 | $R_{11} = 262.245$ | | | | | | |
| 非球面形状 | | | | | | | |
| R 2 面 | $C_{02} = 1.17370e-02 \quad C_{20} = 6.60704e-03$ | | | | | | |
| | $C_{03} = -8.20960e-05 \quad C_{21} = 3.17239e-05$ | | | | | | |
| | $C_{04} = 4.42532e-06 \quad C_{22} = 1.70696e-05 \quad C_{40} = 8.12432e-06$ | | | | | | |
| | $C_{05} = -1.95325e-07 \quad C_{23} = -4.57659e-07 \quad C_{41} = 5.28528e-08$ | | | | | | |
| | $C_{06} = 1.43266e-08 \quad C_{24} = 5.50930e-08 \quad C_{42} = 6.05424e-08$ | | | | | | |
| | $C_{60} = 2.85711e-08$ | | | | | | |
| R 3 面 | $C_{02} = 4.78752e-03 \quad C_{20} = 6.08577e-03$ | | | | | | |
| | $C_{03} = 8.04000e-06 \quad C_{21} = -2.48947e-05$ | | | | | | |
| | $C_{04} = -8.47604e-08 \quad C_{22} = 5.58110e-06 \quad C_{40} = 3.62312e-06$ | | | | | | |
| | $C_{05} = 3.57983e-09 \quad C_{23} = -8.90555e-08 \quad C_{41} = -1.93993e-08$ | | | | | | |
| | $C_{06} = -2.14023e-10 \quad C_{24} = 2.72588e-09 \quad C_{42} = 1.86232e-09$ | | | | | | |
| | $C_{60} = 5.94017e-09$ | | | | | | |
| R 7 面 | $C_{02} = -6.10763e-03 \quad C_{20} = 6.78303e-04$ | | | | | | |
| | $C_{03} = -2.10107e-05 \quad C_{21} = -2.95023e-05$ | | | | | | |
| | $C_{04} = -4.32906e-07 \quad C_{22} = 5.68199e-06 \quad C_{40} = 8.04608e-06$ | | | | | | |
| | $C_{05} = -6.44143e-09 \quad C_{23} = -1.01568e-07 \quad C_{41} = -1.36560e-07$ | | | | | | |
| | $C_{06} = -4.76639e-10 \quad C_{24} = 2.17578e-09 \quad C_{42} = -4.18606e-09$ | | | | | | |
| | $C_{60} = -7.66468e-09$ | | | | | | |
| R 8 面 | $C_{02} = -8.05505e-03 \quad C_{20} = 2.18969e-03$ | | | | | | |
| | $C_{03} = -2.78436e-05 \quad C_{21} = -1.86649e-05$ | | | | | | |
| | $C_{04} = -3.36701e-06 \quad C_{22} = 6.81965e-06 \quad C_{40} = 3.17321e-06$ | | | | | | |
| | $C_{05} = 2.21811e-08 \quad C_{23} = -1.17535e-08 \quad C_{41} = 1.52834e-08$ | | | | | | |
| | $C_{06} = -6.42291e-09 \quad C_{24} = 1.70935e-09 \quad C_{42} = -1.57102e-08$ | | | | | | |
| | $C_{60} = -8.28707e-09$ | | | | | | |

本数値実施例の構成を物体側から順に説明する。B1は第1 光学素子であり、1つの透明体の表面に第1 面R1(凹面の入射屈折面)と偏心した曲面の内面反射面である第2 面R2、第3 面R3と第4 面R4(平面の射出屈折面)を形成している。なお、第2 面R2は凸反射面として作用する。第5 面R5は絞り面である。B2は第2 光学素子であり、1 一つの透明体の表面に第6 面R6(平面の入射屈折

*面)と偏心した曲面の内面反射面である第7 面R7、第8 面R8と第9 面R9(凸面の射出屈折面)を形成している。なお、第8 面R8は凸反射面として作用する。B3は第3 光学素子であり、第10面R10 と第11面R11 とで共軸の凹レンズを形成している。第12面R12は最終像面であり、CCD等の撮像媒体の撮像面が位置する。

* 50 【0086】本数値実施例の第1 光学素子B1、絞りR5、

*【0092】次に、各群の移動による変倍作用について説明する。本数値実施例は物体側から順に正負の2群で構成された2群ズームであり、変倍に際しては広角端から望遠端に向けて前群、後群共にZ マイナス方向に、且つ両群の間隔が狭まるように移動する。

【0093】図10、11、12は夫々本数値実施例の広角端(W)、中間位置(M)、望遠端(T)での横収差図である。これらの横収差図は本数値実施例への光束の入射角が各々(u_y, u_x), ($0, u_x$), ($-u_y, u_x$), ($u_y, 0$), ($0, 0$), ($-u_y, 0$) の6つの光束について、Y方向及びX方向の横収差を示している。なお、各横収差図の横軸は夫々絞りR5におけるY方向、X方向の入射光束の入射高さである。

【0094】本実施例では図から判るように各状態ともバランスの取れた収差補正が得られている。

【0095】なお、本実施例は像サイズ36x24mmを前提としている。

【0096】数値実施例2 本数値実施例は実施形態2の数値実施例であり、変倍比約1.9の変倍光学系である。図13、14、15は夫々本実施例の広角端(W)、中間位置(M)、望遠端(T)での光学断面図及び光路図である。

* 【0097】

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 | | | | |
|-----------------|-------------------------|--------|-------|-------------------------|---------|-------|-----|
| 水平半画角 | 27.2 | 21.6 | 14.4 | | | | |
| 垂直半画角 | 18.9 | 14.6 | 9.7 | | | | |
| 絞り径 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | | | | |
| i | Yi | Zi (W) | θi | Di | Ndi | νdi | |
| 第1 光学素子B1 | | | | | | | |
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 16.00 | 1.51741 | 52.41 | 屈折面 |
| 2 | 0.00 | 16.00 | 28.00 | 17.00 | 1.51741 | 52.41 | 反射面 |
| 3 | -14.09 | 6.49 | 73.00 | 24.00 | 1.51741 | 52.41 | 反射面 |
| 4 | 9.91 | 6.49 | 90.00 | 2.00 | 1 | | 屈折面 |
| 5 | 11.91 | 6.49 | 90.00 | 2.00 | 1 | | 絞り |
| 第2 光学素子B2 | | | | | | | |
| 6 | 13.91 | 6.49 | 90.00 | 16.00 | 1.51741 | 52.41 | 屈折面 |
| 7 | 35.91 | 6.49 | 70.00 | 17.00 | 1.51741 | 52.41 | 反射面 |
| 8 | 22.88 | -4.43 | 25.00 | 20.00 | 1.51741 | 52.41 | 反射面 |
| 9 | 22.88 | 15.57 | 0.00 | 変数 | 1 | | 屈折面 |
| 第3 光学素子B3(凹レンズ) | | | | | | | |
| 10 | 22.88 | 31.99 | 0.00 | 2.80 | 1.83480 | 42.72 | 屈折面 |
| 11 | 22.88 | 34.79 | 0.00 | 変数 | 1 | | 屈折面 |
| 12 | 22.88 | 55.07 | 0.00 | | 1 | | 像面 |
| | 広角端 | 中間 | 望遠端 | | | | |
| D 9 | 16.43 | 11.93 | 6.30 | | | | |
| D11 | 20.28 | 34.79 | 70.28 | | | | |
| D 1 ～ 9面 | Zi (M) = Zi (W) - 10.01 | | | Zi (T) = Zi (W) - 39.88 | | | |
| D10 ～11面 | Zi (M) = Zi (W) - 14.51 | | | Zi (T) = Zi (W) - 50.00 | | | |
| D12 面 | Zi (M) = Zi (W) | | | Zi (T) = Zi (W) | | | |
| 球面形状 | | | | | | | |
| R 1 面 | R1 = -60.000 | | | | | | |
| R 4 面 | R4 = ∞ | | | | | | |

19

20

R 6 面 $R_6 = \infty$
 R 9 面 $R_9 = -35.226$
 R10 面 $R_{10} = -42.989$
 R11 面 $R_{11} = 94.318$
 非球面形状
 R 2 面 $C_{02} = 1.79244e-02$ $C_{20} = -1.52002e-04$
 $C_{03} = 2.91478e-04$ $C_{21} = -4.53461e-05$
 $C_{04} = -6.15025e-06$ $C_{22} = -2.99463e-06$ $C_{40} = -2.71165e-07$
 $C_{05} = 1.04508e-06$ $C_{23} = 1.86002e-07$ $C_{41} = -1.48849e-08$
 $C_{06} = 7.13288e-08$ $C_{24} = 8.65582e-09$ $C_{42} = -7.46787e-09$
 $C_{60} = 6.59757e-09$
 R 3 面 $C_{02} = 6.97073e-03$ $C_{20} = -9.56998e-04$
 $C_{03} = 6.11813e-05$ $C_{21} = -4.53546e-05$
 $C_{04} = -4.08851e-06$ $C_{22} = -1.86658e-06$ $C_{40} = -3.32310e-07$
 $C_{05} = 3.03036e-07$ $C_{23} = 6.29105e-08$ $C_{41} = 2.53765e-08$
 $C_{06} = -1.24765e-08$ $C_{24} = -3.65030e-09$ $C_{42} = -1.04366e-08$
 $C_{60} = 1.64066e-08$
 R 7 面 $C_{02} = -8.55985e-03$ $C_{20} = 2.21093e-03$
 $C_{03} = 1.12454e-05$ $C_{21} = -3.52367e-05$
 $C_{04} = -2.60229e-07$ $C_{22} = -1.96530e-06$ $C_{40} = 8.68966e-07$
 $C_{05} = -1.79083e-09$ $C_{23} = -4.59509e-08$ $C_{41} = -1.05985e-08$
 $C_{06} = -1.47512e-09$ $C_{24} = -3.24982e-09$ $C_{42} = -3.41218e-10$
 $C_{60} = -1.94830e-09$
 R 8 面 $C_{02} = -1.36422e-02$ $C_{20} = 1.92964e-03$
 $C_{03} = 2.54697e-04$ $C_{21} = -6.64828e-05$
 $C_{04} = -9.76231e-06$ $C_{22} = -3.77447e-06$ $C_{40} = 1.78974e-07$
 $C_{05} = 4.48426e-07$ $C_{23} = -1.79772e-07$ $C_{41} = 7.87360e-10$
 $C_{06} = -4.46303e-08$ $C_{24} = -9.64066e-09$ $C_{42} = -4.44809e-09$
 $C_{60} = -3.30943e-09$

本数値実施例の構成を物体側から順に説明する。B1は第1光学素子であり、1つの透明体の表面に第1面R1（凹面の入射屈折面）と偏心した曲面の内面反射面である第2面R2、第3面R3と第4面R4（平面の射出屈折面）を形成している。なお、第2面R2は凸反射面として作用する。第5面R5は絞り面である。B2は第2光学素子であり、1つの透明体の表面に第6面R6（平面の入射屈折面）と偏心した曲面の内面反射面である第7面R7、第8面R8と第9面R9（凸面の射出屈折面）を形成している。なお、第8面R8は凸反射面として作用する。B3は第3光学素子であり、第10面R10と第11面R11とで共軸の凹レンズを形成している。第12面R12は最終像面であり、CCD等の撮像媒体の撮像面が位置する。

【0098】本数値実施例の第1光学素子B1、絞りR5、第2光学素子B2は全体として正の屈折力を有し、一体となって移動する第1群（前群）を構成しており、第3光学素子B3は負の屈折力を有し、変倍に際して移動する第2群（後群）を構成している以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、物体からの光束は第1光学素子B1に入射する。第1光学素子B1では第1面R1で屈折し、第2面R2、第3面R3で順次反射し、*50

30*第4面R4で屈折して、第1光学素子B1を射出する。

【0099】次に光束は絞りである第5面R5を通過した後、第2光学素子B2に入射する。第2光学素子B2では第6面R6で屈折し、第7面R7、第8面R8で順次反射し、第9面R9で屈折して、第2光学素子B2を射出する。

【0100】次に光束は第3光学素子B3に入射する。第3光学素子B3では第10面R10、第11面R11で屈折して、第3光学素子B3を射出する。

【0101】そして、第3光学素子B3を射出した光束は第12面R12上に最終的に結像する。

【0102】本数値実施例の第1光学素子B1、第2光学素子B2は夫々入射基準軸の方向と射出基準軸の方向とが直交するOff-Axial光学素子である。

【0103】次に、各群の移動による変倍作用について説明する。本数値実施例は物体側から順に正負の2群で構成された2群ズームであり、変倍に際しては広角端から望遠端に向って前群、後群共にZマイナス方向に、且つ両群の間隔が狭まるように移動する。

【0104】図16、17、18は夫々本数値実施例の広角端(W)、中間位置(M)、望遠端(T)での横収差図である。

これらの横収差図は本数値実施例への光束の入射角が各

々 $(u_Y, u_X), (0, u_X), (-u_Y, u_X), (u_Y, 0), (0, 0), (-u_Y, 0)$ の 6 つの光束について、Y 方向及び X 方向の横収差を示している。なお、各横収差図の横軸は夫々絞り R5 における Y 方向、X 方向の入射光束の入射高さである。

【0105】本実施例では図から判るように各状態ともバランスの取れた収差補正が得られている。

【0106】なお、本実施例は像サイズ36x24■を前提＊

*としている。

【0107】〔数値実施例3〕本数値実施例は実施形態3の数値実施例であり、変倍比約1.9の変倍光学系である。図19、20、21は夫々本実施例の広角端(W)、中間位置(M)、望遠端(T)での光学断面図及び光路図である。

【0108】

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 | | | | |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------|-------|-----|
| 水平半画角 | 27.2 | 21.6 | 14.4 | | | | |
| 垂直半画角 | 18.9 | 14.6 | 9.7 | | | | |
| 絞り径 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | | | | |
| i | Yi | Zi (W) | θi | Di | Ndi | ν di | |
| 第1 光学素子B1 | | | | | | | |
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 16.00 | 1.51741 | 52.41 | 屈折面 |
| 2 | 0.00 | 16.00 | 30.00 | 20.00 | 1.51741 | 52.41 | 反射面 |
| 3 | -17.32 | 6.00 | 30.00 | 16.00 | 1.51741 | 52.41 | 反射面 |
| 4 | -17.32 | 22.00 | 0.00 | 変数 | 1 | | 屈折面 |
| 5 | -17.32 | 24.00 | 0.00 | 2.00 | 1 | | 絞り |
| 第2 光学素子B2 | | | | | | | |
| 6 | -17.32 | 26.00 | 0.00 | 8.00 | 1.51741 | 52.41 | 屈折面 |
| 7 | -17.32 | 40.00 | -30.00 | 20.00 | 1.51741 | 52.41 | 反射面 |
| 8 | 0.00 | 30.00 | -30.00 | 16.00 | 1.51741 | 52.41 | 反射面 |
| 9 | 0.00 | 46.00 | 0.00 | 変数 | 1 | | 屈折面 |
| 第3 光学素子B3(凹レンズ) | | | | | | | |
| 10 | 0.00 | 62.06 | 0.00 | 2.80 | 1.83480 | 42.72 | 屈折面 |
| 11 | 0.00 | 64.86 | 0.00 | 変数 | 1 | | 屈折面 |
| 12 | 0.00 | 84.15 | 0.00 | | 1 | | 像面 |
| | 広角端 | 中間 | 望遠端 | | | | |
| D 4 | 2.00 | 3.58 | 2.17 | | | | |
| D 9 | 16.06 | 11.16 | 5.20 | | | | |
| D11 | 19.29 | 34.31 | 69.29 | | | | |
| D 1 ~ 4面 | Zi (M) = Zi (W) - 11.70 | | | Zi (T) = Zi (W) - 39.31 | | | |
| D 5 ~ 9面 | Zi (M) = Zi (W) - 10.12 | | | Zi (T) = Zi (W) - 39.14 | | | |
| D10 ~11面 | Zi (M) = Zi (W) - 15.02 | | | Zi (T) = Zi (W) - 50.00 | | | |
| D12 面 | Zi (M) = Zi (W) | | | Zi (T) = Zi (W) | | | |
| 球面形状 | | | | | | | |
| R 1 面 | R ₁ = -70.000 | | | | | | |
| R 4 面 | R ₄ = -1095.034 | | | | | | |
| R 6 面 | R ₆ = 1694.773 | | | | | | |
| R 9 面 | R ₉ = -30.368 | | | | | | |
| R10 面 | R ₁₀ = -39.973 | | | | | | |
| R11 面 | R ₁₁ = 142.109 | | | | | | |
| 非球面形状 | | | | | | | |
| R 2 面 | C ₀₂ = 1.14912e-02 | C ₂₀ = 6.26525e-03 | | | | | |
| | C ₀₃ = -4.77249e-05 | C ₂₁ = 8.20929e-05 | | | | | |
| | C ₀₄ = 4.10346e-06 | C ₂₂ = 1.01293e-05 | C ₄₀ = 8.27507e-06 | | | | |
| | C ₀₅ = -1.63961e-07 | C ₂₃ = -7.02287e-08 | C ₄₁ = 1.26644e-07 | | | | |
| | C ₀₆ = 2.44243e-08 | C ₂₄ = 3.36166e-08 | C ₄₂ = 4.61438e-08 | | | | |
| | C ₆₀ = 1.61883e-08 | | | | | | |

23

24

R 3 面 $C_{02}=4.89298e-03$ $C_{20}=5.68104e-03$
 $C_{03}=1.68581e-05$ $C_{21}=1.25831e-05$
 $C_{04}=-2.55210e-08$ $C_{22}=3.13563e-06$ $C_{40}=3.87963e-06$
 $C_{05}=4.20901e-09$ $C_{23}=-2.17112e-08$ $C_{41}=-2.44966e-08$
 $C_{06}=8.49458e-10$ $C_{24}=1.24354e-10$ $C_{42}=1.62318e-09$
 $C_{60}=4.20862e-10$

R 7 面 $C_{02}=-5.69972e-03$ $C_{20}=3.42455e-04$
 $C_{03}=-1.25357e-05$ $C_{21}=1.29391e-05$
 $C_{04}=-3.47554e-07$ $C_{22}=2.91471e-06$ $C_{40}=7.06278e-06$
 $C_{05}=6.35559e-10$ $C_{23}=-5.06508e-08$ $C_{41}=-8.96749e-08$
 $C_{06}=-7.42470e-10$ $C_{24}=3.88298e-10$ $C_{42}=-6.12969e-09$
 $C_{60}=-2.91694e-09$

R 8 面 $C_{02}=-7.33488e-03$ $C_{20}=2.03905e-03$
 $C_{03}=-9.78920e-07$ $C_{21}=1.50942e-05$
 $C_{04}=-2.79340e-06$ $C_{22}=2.76445e-06$ $C_{40}=2.81122e-06$
 $C_{05}=5.73943e-08$ $C_{23}=-6.48211e-09$ $C_{41}=-3.98591e-09$
 $C_{06}=-6.05073e-09$ $C_{24}=1.63517e-09$ $C_{42}=-1.14923e-08$
 $C_{60}=-6.63843e-09$

本数値実施例の構成を物体側から順に説明する。B1は第1光学素子であり、1つの透明体の表面に第1面R1(凹面の入射屈折面)と偏心した曲面の内面反射面である第2面R2、第3面R3と第4面R4(殆ど平面の射出屈折面)を形成している。なお、第2面R2は凸反射面として作用する。第5面R5は絞り面である。B2は第2光学素子であり、1つの透明体の表面に第6面R6(殆ど平面の入射屈折面)と偏心した曲面の内面反射面である第7面R7、第8面R8と第9面R9(凸面の射出屈折面)を形成している。なお、第8面R8は凸反射面として作用する。B3は第3光学素子であり、第10面R10と第11面R11とで共軸の凹レンズを形成している。第12面R12は最終像面であり、CCD等の撮像媒体の撮像面が位置する。

【0109】本数値実施例の第1光学素子B1第1群を構成しており、絞りR5、第2光学素子B2は第2群を構成しており、第3光学素子B3は第3群を構成している以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、物体からの光束は第1光学素子B1に入射する。第1光学素子B1では第1面R1で屈折し、第2面R2、第3面R3で順次反射し、第4面R4で屈折して、第1光学素子B1を射出する。

【0110】次に光束は絞りである第5面R5を通過した後、第2光学素子B2に入射する。第2光学素子B2では第6面R6で屈折し、第7面R7、第8面R8で順次反射し、第9面R9で屈折して、第2光学素子B2を射出する。

【0111】次に光束は第3光学素子B3に入射する。第3光学素子B3では第10面R10、第11面R11で屈折して、第3光学素子B3を射出する。

【0112】そして、第3光学素子B3を射出した光束は第12面R12上に最終的に結像する。

【0113】本数値実施例の第1光学素子B1、第2光学素子B2は夫々入射基準軸の方向と射出基準軸の方向とが*50

* 同一方向のOff-Axial 光学素子である。

20 【0114】次に、各群の移動による変倍作用について説明する。本数値実施例は3群構成で3群夫々が独立に移動する3群ズームである。変倍に際しては広角端から望遠端に向かって全ての群がZ マイナス方向に移動する。その際、第1群と第2群の間隔は一旦広がった後狭まり、又、第2群と第3群の間隔は狭まる。

【0115】図22、23、24は夫々本数値実施例の広角端(W)、中間位置(M)、望遠端(T)での横収差図である。これらの横収差図は本数値実施例への光束の入射角が各々(u_y, u_x), (0, u_x), ($-u_y, u_x$), ($u_y, 0$), (0, 0), ($-u_y, 0$)の6つの光束について、Y方向及びX方向の横収差を示している。なお、各横収差図の横軸は夫々絞りR5におけるY方向、X方向の入射光束の入射高さである。

【0116】本実施例では図から判るように各状態ともバランスの取れた収差補正が得られている。

【0117】なお、本実施例は像サイズ36x24mmを前提としている。

【0118】以上の各数値実施例は、Off-Axial 光学素子と、基準軸光線に対し回転対称な面のみで構成される共軸光学素子を用いることにより、全体として光学部品点数の少ない変倍光学系を達成している。

【0119】

【発明の効果】本発明は以上の構成により、Off-Axial 光学素子と、基準軸光線に対し回転対称な面のみで構成される共軸光学素子によって変倍を行い、光学系内の光路を所望の形状に屈曲しながら、諸収差及び偏心収差を全変倍域にわたって良好に補正し、全体として光学部品点数の少ない変倍光学系及びそれを用いた撮像装置を達成する。

【0120】更に、

(3-1) 複数の反射面に適切な屈折力を与えて、こ

25

れを偏心配置したOff-Axial 光学素子を用いることにより、変倍光学系内の光路を所望の形状に屈曲し、該変倍光学系の所定方向の全長を短縮する。

(3-2) 1つの透明体の表面に適切な屈折力を有する2つの入・射出屈折面と、適切な屈折力を有し、基準軸に対して偏心配置した複数の反射面を形成したOff-Axial 光学素子を用いることにより、諸収差及び偏心収差を全変倍域にわたって良好に補正する。

(3-3) 1つの透明体の表面に2つの屈折面と複数の曲面や平面の反射面を一体的に形成したOff-Axial 光学素子を用いることにより変倍光学系全体の小型化を図りつつ、反射面を使用する際にありがちな反射面の厳しい配置精度(組立精度)の問題を解決する。等の少なくとも1つの効果を有する変倍光学系及びそれを用いた撮像装置を達成する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の変倍光学系の実施形態1の基本構成図

【図2】 実施形態1の第1光学素子の構成図

【図3】 実施形態1の第1光学素子の斜視図

【図4】 本発明の変倍光学系の実施形態2の基本構成図

【図5】 本発明の変倍光学系の実施形態3の基本構成図

【図6】 本発明の数値実施例の座標系の説明図

【図7】 数値実施例1の広角端での光学断面図

【図8】 数値実施例1の中間位置での光学断面図

【図9】 数値実施例1の望遠端での光学断面図

【図10】 数値実施例1の広角端での横収差図

【図11】 数値実施例1の中間位置での横収差図

【図12】 数値実施例1の望遠端での横収差図

【図13】 数値実施例2の広角端での光学断面図

26

【図14】 数値実施例2の中間位置での光学断面図

【図15】 数値実施例2の望遠端での光学断面図

【図16】 数値実施例2の広角端での横収差図

【図17】 数値実施例2の中間位置での横収差図

【図18】 数値実施例2の望遠端での横収差図

【図19】 数値実施例3の広角端での光学断面図

【図20】 数値実施例3の中間位置での光学断面図

【図21】 数値実施例3の望遠端での光学断面図

【図22】 数値実施例3の広角端での横収差図

【図23】 数値実施例3の中間位置での横収差図

【図24】 数値実施例3の望遠端での横収差図

【図25】 カセグレン式反射望遠鏡の基本構成図

【図26】 ミラー光学系における主光線を光軸から離しケラレを防止する第一の方法の説明図

【図27】 ミラー光学系における主光線を光軸から離しケラレを防止する第二の方法の説明図

【図28】 従来の反射ミラーを用いたズーム光学系の概念図

【図29】 プリズム反射面に曲率を持った観察光学系の概念図

【図30】 他のプリズム反射面に曲率を持った観察光学系の概念図

【符号の説明】

11…絞り

12…基準軸光線

13, 21…第1光学素子

14, 22…第2光学素子

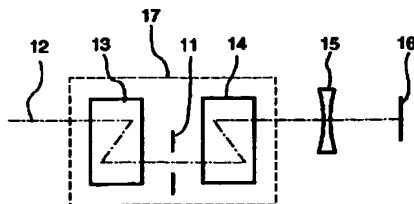
15…第3光学素子(共軸光学素子)

16…最終像面

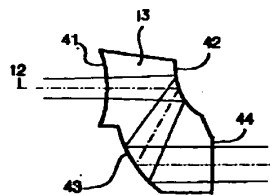
17, 24…前群

31…第2群

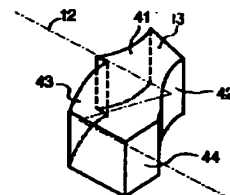
【図1】



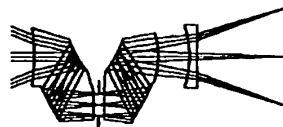
【図2】



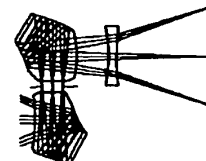
【図3】



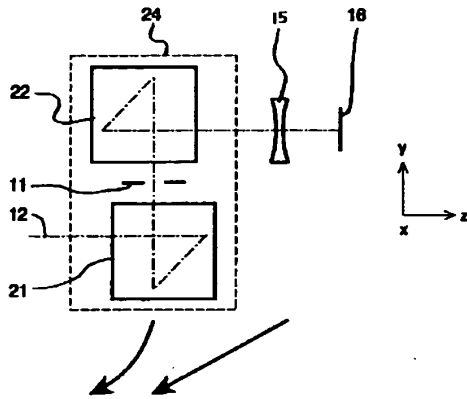
【図8】



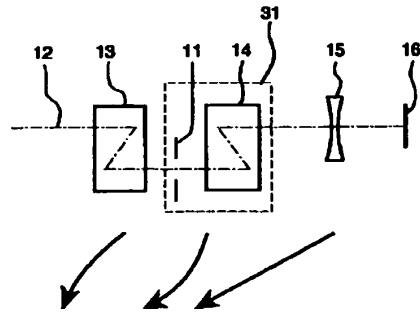
【図14】



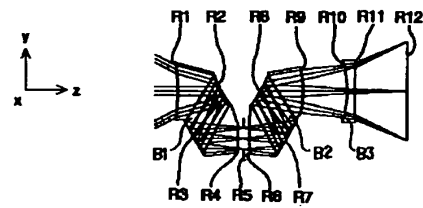
【図4】



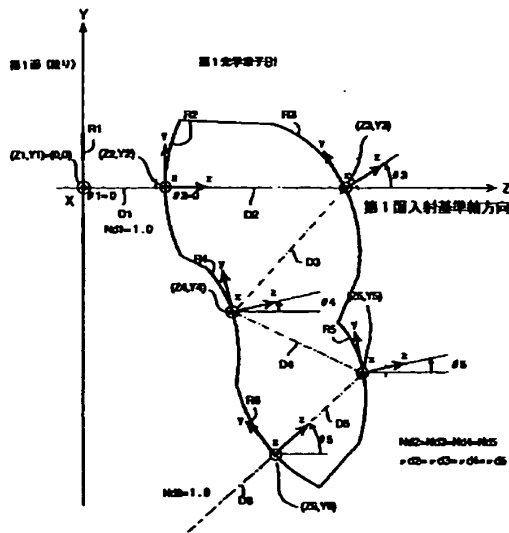
【図5】



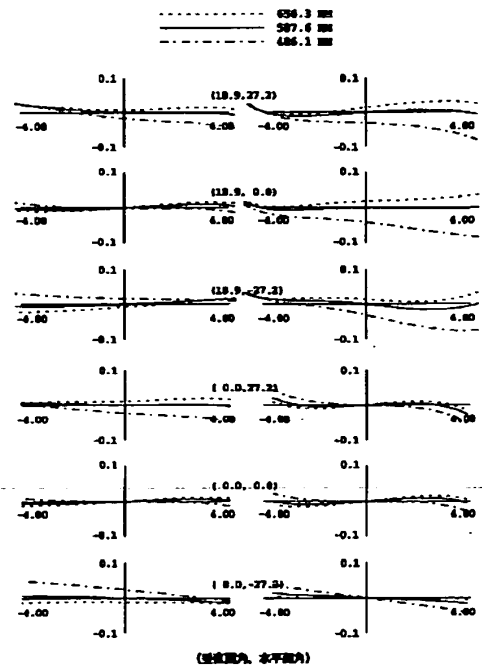
【図7】



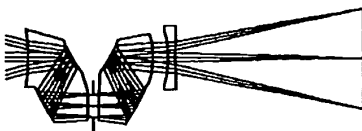
【図6】



【図10】

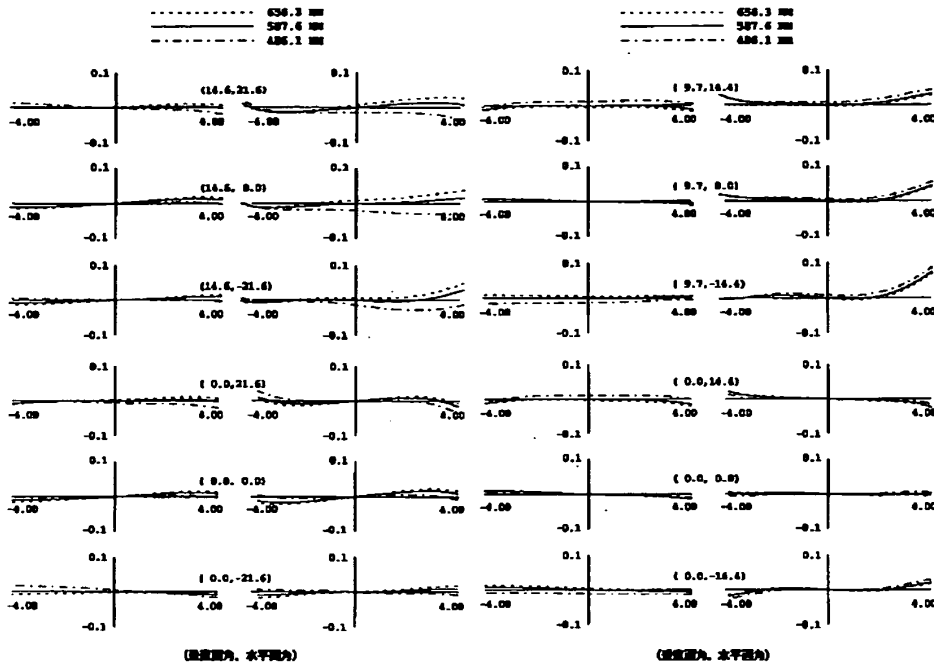


【図9】

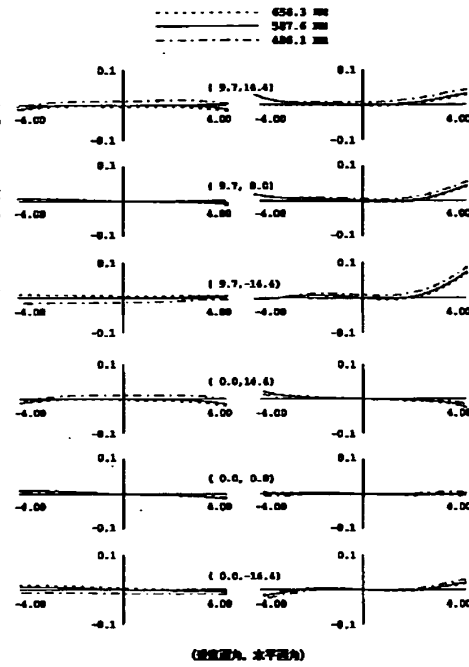


(単位:mm, 水平面内)

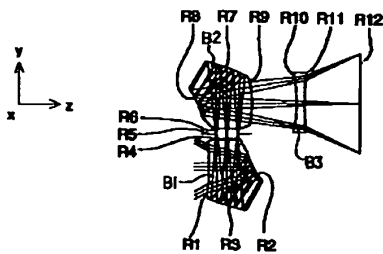
【図11】



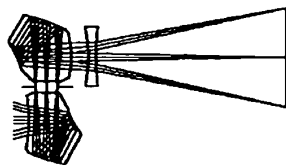
【図12】



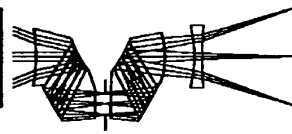
【図13】



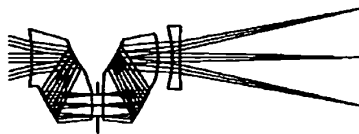
【図15】



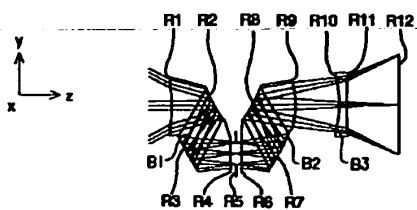
【図20】



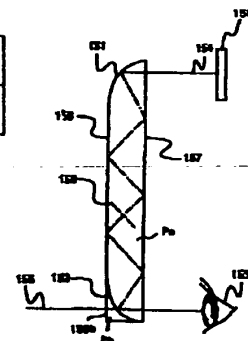
【図21】



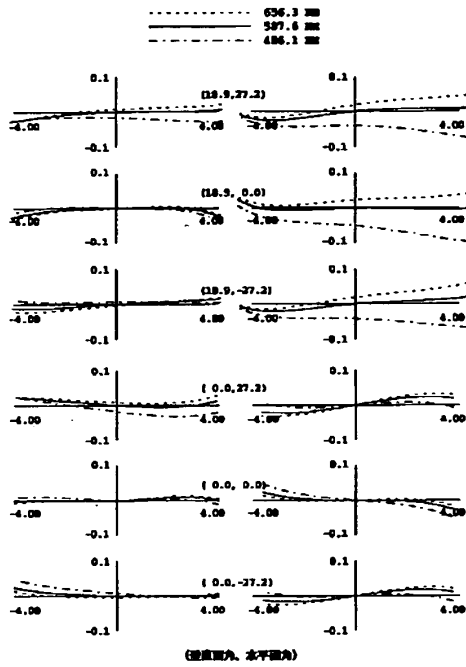
【図19】



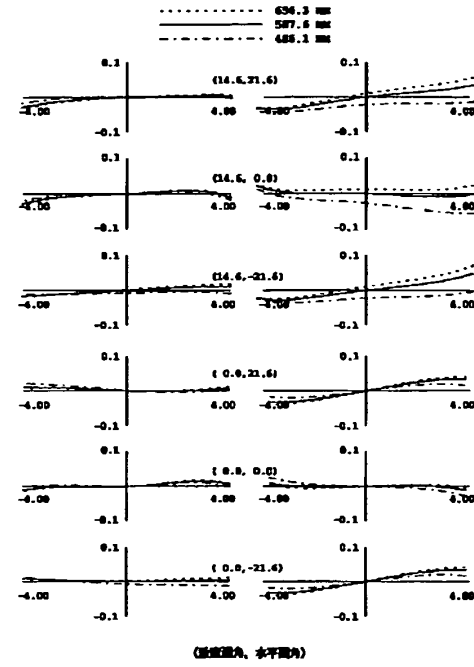
【図30】



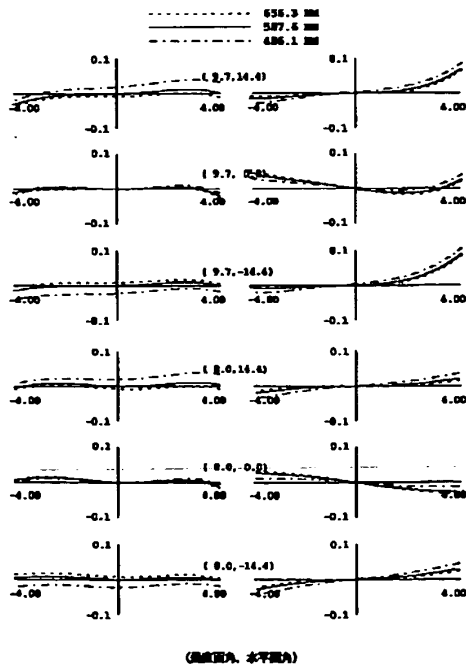
【図16】



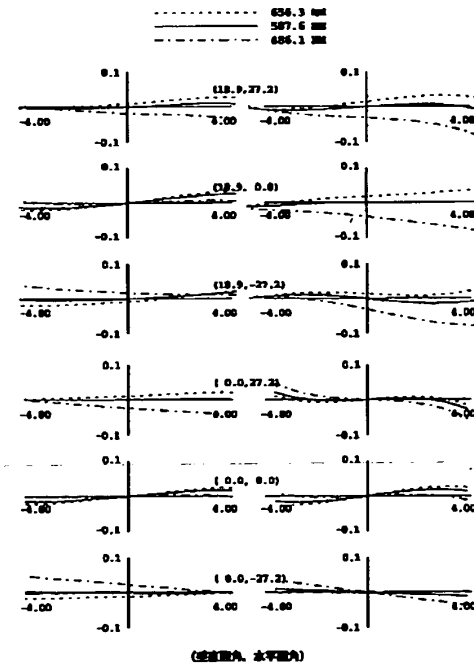
【図17】



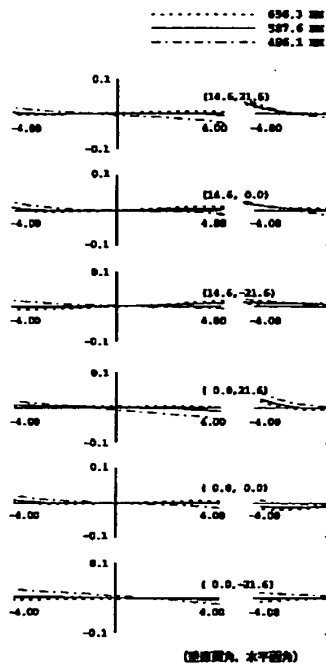
【図18】



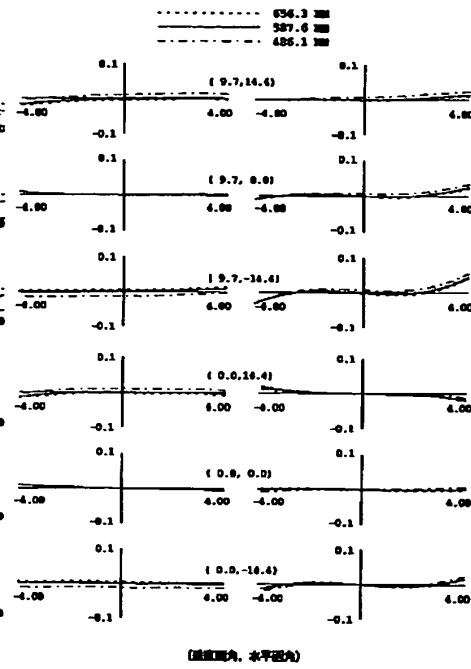
【図22】



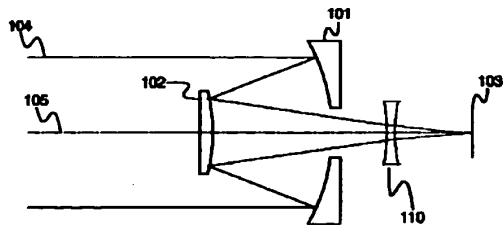
【図23】



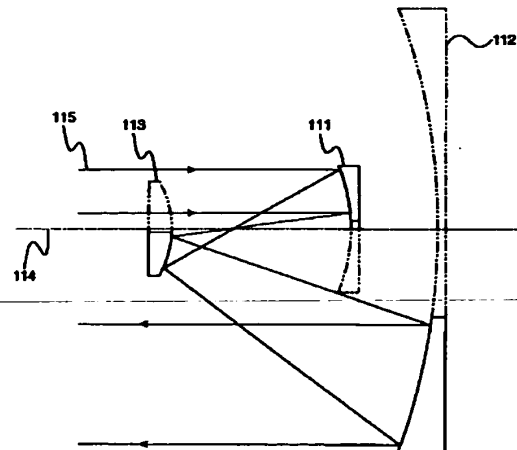
【図24】



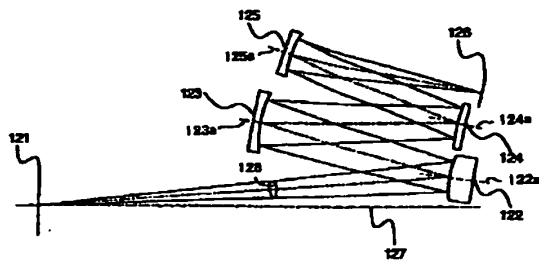
【図25】



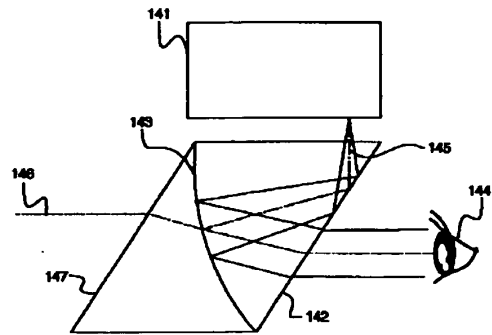
【図26】



【図27】



【図29】



【図28】

